

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 07142338
PUBLICATION DATE : 02-06-95

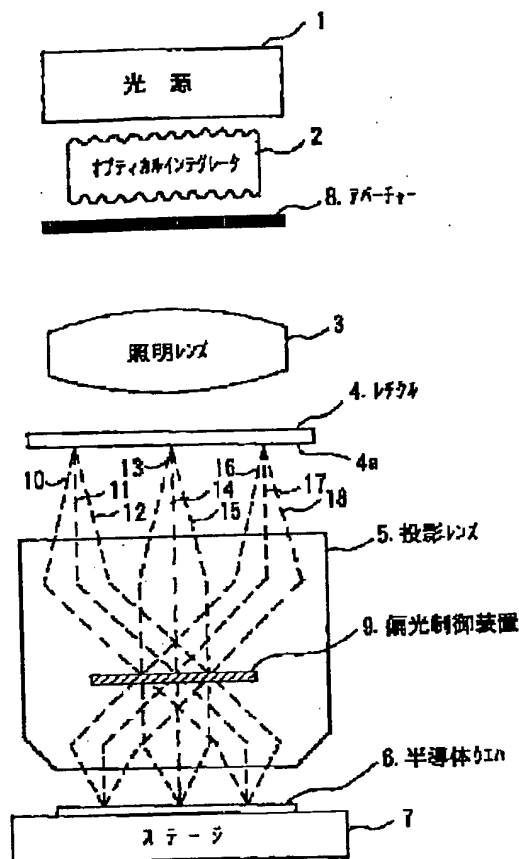
APPLICATION DATE : 14-06-93
APPLICATION NUMBER : 05168709

APPLICANT : CANON INC;

INVENTOR : UNNO YASUYUKI;

INT.CL. : H01L 21/027 G02B 27/28 G03F 7/20

TITLE : IMAGE PROJECTION METHOD AND ALIGNER USING SAME



ABSTRACT : PURPOSE: To achieve projection with a high contrast while maintaining a high resolution by projecting a pattern while controlling the polarization state of diffraction light when applying a flux of light from a lighting system to the pattern and then projecting the pattern to a specific surface by a projection optical system utilizing the diffraction light generated from the pattern.

CONSTITUTION: With light which is diffracted by a pattern 4a on the surface of a reticle 4 and enters a projection lens 5, only the light constituent with a specific polarization direction is transmitted by a polarization controller 9 provided at a pupil position in the projection lens 5, which contributes to pattern formation on a semiconductor wafer 6. Namely, the polarization of light contributing to the image formation on the pupil surface of the projection lens 5 is controlled, thus enabling only the polarization constituent for obtaining a high contrast image to be transmitted and a pattern image to be formed.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-142338

(43)公開日 平成7年(1995)6月2日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 2 B 27/28

G 0 3 F 7/20

A 9120-2K

5 2 1 9122-2H

7352-4M

H 0 1 L 21/ 30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 16 頁)

(21)出願番号

特願平5-168709

(22)出願日

平成5年(1993)6月14日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 昨野 靖行

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

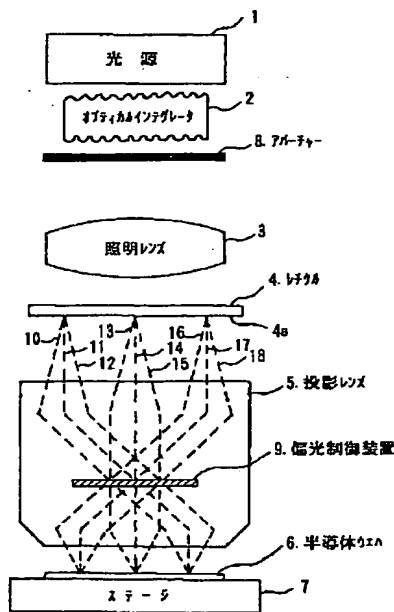
(74)代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54)【発明の名称】 像投影方法及びそれを用いた露光装置

(57)【要約】

【目的】 パターンを最適な偏光状態の光束を用いて高解像度で投影するようにした像投影方法及びそれを用いた露光装置を得ること。

【構成】 照明系からの光束でパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を利用して投影光学系により該パターンを所定面上に投影する際、前記投影光学系の瞳面で前記回折光の偏光状態を制御し、該パターンを投影していること。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明系からの光束でパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を利用して投影光学系により該パターンを所定面上に投影する際、該回折光の偏光状態を制御して該パターンを投影していることを特徴とする像投影方法。

【請求項2】 前記投影光学系の瞳面で前記回折光の偏光状態を制御していることを特徴とする請求項1の像投影方法。

【請求項3】 前記投影光学系の瞳面の中心に対する同心円の接線方向に偏光面を有する回折光成分を主として透過させていることを特徴とする請求項1の像投影方法。

【請求項4】 照明系からの光束でレチクル面上のパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハ面上に投影する際、該投影光学系の瞳面近傍に偏光制御装置を設け、該瞳面の中心に対する同心円の接線方向に偏光面を有する回折光成分を主として透過させていることを特徴とする露光装置。

【請求項5】 照明系からの光束でパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を利用して投影光学系により該パターンを所定面上に投影する際、該投影光学系の瞳面近傍に設けた光学手段により、該瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることを特徴とする像投影方法。

【請求項6】 前記光学手段は2つの偏光部材の相対的位置を制御して前記瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることを特徴とする請求項5の像投影方法。

【請求項7】 前記光学手段は前記パターンの形状・大きさ及び前記照明系の配置に応じて前記投影光学系の瞳面の所定領域を通過する光束の振幅透過率を制御していることを特徴とする請求項6の像投影方法。

【請求項8】 照明系からの光束で原板上のパターンを照明し、該パターンを投影光学系により所定面上に投影露光する際、該投影光学系の瞳面近傍に光学手段を設け、該瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることを特徴とする露光装置。

【請求項9】 前記光学手段は前記投影光学系の瞳面への入射光のうち、特定方向の偏光成分を透過させる第1偏光部材と該第1偏光部材を透過した光のうち特定方向の偏光成分を透過させる第2偏光部材とを有していることを特徴とする請求項8の露光装置。

【請求項10】 前記第1偏光部材と第2偏光部材との相対的位置を変えることにより、前記投影光学系の瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることを特徴とする請求項8の露光装置。

【請求項11】 回路パターンを持った原板とウエハとを用意する工程と、請求項1、2、3、5、6、7の何

れかの方法によって原板の回路パターンをウエハに露光転写する工程を有することを特徴とする半導体素子の製造方法。

【請求項12】 請求項11の製造方法によって製造されたことを特徴とする半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は像投影方法及びそれを用いた露光装置に関し、特に半導体素子の製造装置であるステッパーにおいてレチクル又はマスク（以下「レチクル」と称する。）面上の線幅の小さい電子回路パターン（パターン）を適切な光束で照明し、ウエハ面上に高い解像力で投影することができる像投影方法及びそれを用いた露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体素子の高集積化に対する要求は益々高まっており、露光光として紫外光を用いて回路パターンの縮小転写を行う所謂ステッパー（縮小投影露光装置）においても解像力の向上のために様々な改良がなされている。

【0003】 従来、より解像力を高める方法として縮小投影レンズのNAを大きくする方法、及び露光用の光の波長を短くする方法等が採られてきた。又最近ではこれらの方法とは別に所謂位相シフト法や斜入射照明方法等の適用により解像力を高める方法が種々と提案されている。

【0004】 この位相シフト法や、斜入射照明法の原理の説明をする前に、まず周期性のある微細なパターンの像を照明系と投影レンズ（投影光学系）を用いて形成する光学的作用について説明する。

【0005】 図25はパターンとして3本の微細なスリットからなる1次元パターンの振幅透過率を縦軸に、パターン幅を横軸にとったときを表す。図中、透過率1の部分は光が透過し、透過率0の部分は光が遮られることを示す。

【0006】 このような振幅透過率をもつパターンをコヒーレントな光で照明すると、回折の効果によって入射光は0次、+1次、-1次、及び更に高次の回折光へと分かれる。このうち像の形成に寄与するのは投影光学系の瞳に入射する成分のみであるが、一般には0次、+1次、-1次の成分によって像が形成される。

【0007】 図26はそれら3つの成分の瞳上における振幅の説明図である。図中100、101、102はそれぞれ0次、+1次、-1次の回折光成分のピーク位置、Iは振幅の大きさを表す。

【0008】 図27はそこから最終的に形成される像面上のパターンの強度分布を示している。縦軸は強度Iを示している。ここで例えば、投影するパターンのスリット幅が更に狭くなって0次の回折光成分しか投影レンズに入射できなくなると、もはや像は形成されなくなつて

しまう。

【0009】これに対して所謂位相シフト法では、光がパターンを透過する際、隣合うスリットからの回折光の位相が180度ずれるようにパターンに細工をして、投影レンズの瞳上で0次の回折光成分が現れないようにしている。そして最終的なパターンの像は+1次と-1次の回折光成分によって形成している。

【0010】3本の微細スリットから成るパターンを、位相シフト法を用いて投影した際に投影レンズの瞳上にできる振幅分布を図28に示す。図中103、104はそれぞれ+1次、-1次の回折光成分のピーク位置を表す。

【0011】ここで注目すべきことは、それらの位置が図26の対応する成分の位置に比べて座標として半分になっていることである。投影レンズの瞳上の座標はパターンの空間周波数に対応するため、位相シフト法を用いると、より微細なパターンからの回折光成分も投影レンズの瞳上に到達でき、解像度が向上することがわかる。

【0012】一方、斜入射照明による解像度の向上も、原理的には位相シフト法に良く似ている。

【0013】図26の瞳上の振幅分布は、光をパターンが描かれた平面に対して垂直な方向から入射させた場合のものであるが、これを斜めから入射させることによって、瞳上にできる回折光成分の位置を横方向にずらしている。

【0014】図29は瞳上に0次と+1次の成分が入るように横ずらしたときの瞳面上の振幅分布の説明図である。図中105、106はそれぞれ0次、+1次の回折光成分のピーク位置を表す。

【0015】ここでこの2つの回折光成分によって像を形成することを考えれば、位相シフト法の場合と同様に、より微細なパターンからの回折光成分も投影レンズの瞳上に到達でき、解像度が向上する。このとき0次と+1次の回折光の代わりに0次と-1次の回折光成分を用いて像を形成するようにしても結果は全く同じである。

【0016】以上のように従来の像の再生には主に0次、+1次、-1次の3つの回折光成分を用い、所謂位相シフト法及び斜入射照明法による像の再生には0次、+1次、-1次のうちの2つの回折光成分を用いてい

【0017】一方、瞳フィルタリング法は、投影レンズの瞳を透過する光の振幅透過率を制御することによって解像度の向上を実現するものであり、投影するパターンの種類によって幾つかの方法が提案されている。またこの方法は、前述の位相シフト法、或は斜入射照明法と組み合わせ使用することができるのが特徴である。

【0018】それでここでは、斜入射照明法と瞳フィルタリング法を組み合わせる解像度の向上を実現する公知の方法について詳しく説明を行う。尚、この方法は例えば

“月刊Semiconductor World”誌 1992年 3月号 P.50～に開示されているものである。

【0019】まず、図36は投影露光装置の主要構成部を模式的に描いたものであり、図中300はレチクル、301は投影レンズ、302はウエハを表す。

【0020】図36に示すようにレチクル300を垂直方向からの光で照明すると、投影レンズ301にはレチクル300上のパターンからの回折光のうち主に0次、+1次、-1次の成分が取り込まれてウエハ302上に前記パターンの像が形成される。

【0021】しかしパターンが微細になって回折角が大きくなり、+1次、-1次の回折光が投影レンズ301内に入れなくなるとウエハ302上に前記パターンの像は形成されなくなってしまう。

【0022】そこで図37のように照明光を垂直方向から傾けてレチクル300を照明し、0次の回折光が投影レンズ301の瞳の周辺部を通るようにして、0次と+1次（又は-1次）の回折光によって結像を行うようにしたのが、所謂“斜入射照明法”と呼ばれるものである。

【0023】この方法では図36の通常の照明法に比べて、より微細なパターンの像を転写することが可能になるが、投影レンズ301の瞳の周辺部を通過する0次の回折光の振幅が他の回折光成分（+1次又は-1次）に比べて大きい場合像のコントラストが低下するという問題がある。

【0024】この問題に対して、図38に示すように投影レンズ301の瞳の位置にフィルター303を挿入し、0次の回折光成分の振幅を低減させて結像を行い、像のコントラストを向上させるというのが上記の文献に開示されている技術の内容である。

【0025】このように、瞳面上で光の振幅透過率を制御することは、投影露光装置の解像度を向上させる上で非常に有効な手段である。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】前述した位相シフト法や斜入射照明法による解像度の向上の効果には結像に寄与する光の偏光状態が大きくかわっていることが本発明者の行ったシュミレーションの結果から明らかになった。そのため、結像に寄与する光の偏光状態を最適な状態にしないと、位相シフト法や斜入射照明法等を用いても大きな解像度の向上が得られないという問題点が生じてくる。

【0027】ここで、一般的な結像特性のシュミレーションに用いられる所謂スカラー回折理論と、本発明者がシュミレーションに用いた上記スカラー回折理論よりも精度の高い理論について説明する。

【0028】まずスカラー回折理論では、物体パターンが照明されるとそのパターンのフーリエ変換像が投影レンズの入射瞳上に形成され、それを投影レンズのNAの

範囲内で再びフーリエ変換して像面上での振幅分布が求まるとされる。これを式で表現すると、像面上の点 (x, y) における振幅 $A(x, y)$ は

$$A(x, y) = \iint F(U(x_1, y_1)) \exp\{ik(\alpha x + \beta y)\} d\alpha d\beta$$

と書ける。

【0030】式中 $F(U(x_1, y_1))$ はパターン
の振幅透過率 $U(x_1, y_1)$ のフーリエ変換であり、
それを投影レンズのNAから決まる瞳面の範囲内で再びフー
リエ変換している。但し式中 (α, β) は瞳面上の座
標であり、 $F(U(x_1, y_1))$ は (α, β) の関数
になっている。

【0031】この式は照明光がコヒーレントの場合のも
のであるが、光源が有限の面積をもって照明光の扱いを
部分コヒーレントとする場合にも、扱いは多少複雑にな
るが基本的には同じである。

【0032】上に述べた式を用いたシュミレーションで
は、投影レンズのNAが小さい場合は正しい結果が得ら
れるが、NAが大きくなっていくといくつかの問題が生
じることが本発明者の行った検討により明らかになっ
た。

【0033】詳細は省略するが、上式の一番の問題点は
結像に寄与する光の偏光状態が扱われていないことであ
る。このことを図を用いて説明する。説明には前述の1
次元の3本のスリットより成るパターンの例を用いる。

【0034】図30は図26で示した瞳上の振幅分布と
同じものを、投影レンズのガウス像点(図中110)を
基準とした参照球面(図中111)上に描いている。像
面112上の点110における振幅は、上記参照球面1
11上の振幅の積分によって、又像面112上で点11
0から距離 x だけずれた点における振幅は、距離 x と参
照球面111上の座標から決まる、ある位相差を考慮
して上記参照球面111上の振幅を積分することによっ
て計算される。

【0035】ここから先は話を簡単にするために、上記
点110における振幅の計算に議論を限ることとする。
又ここで便宜上座標軸の定義を行っておく。

【0036】図30に示すように光軸を z 軸とし、紙面
内で z 軸に垂直な軸を x 軸、及び紙面に垂直な方向の軸
を y 軸とする。上に述べたスカラー回折理論による考え
方では、上記点110における振幅は上記参照球面11
1上の振幅をそのまま足し合わせた形で計算される。

【0037】ところで光には偏光というものがあり、例
え完全にコヒーレントな光同士であっても、その偏光方
向が異なっていると完全には干渉しないし、それが例え
ば直交していると干渉は全く起こらない。

【0038】パターンを構成するスリットが y 軸に平行
で x 軸方向に周期を持つとして、 z 軸に平行な光で上記
スリットを照明すれば参照球面上では図30の振幅分布
が形成される。

* 【0029】
【数1】

10

【0039】パターンが、特別な偏光方向をもたない所
謂非偏光の光で照明されている場合に、図30の振幅分
布によって像面112上にできる光の強度分布を計算す
るには、参照球面111上の光を y 軸に平行な方向に偏
光面を有する直線偏光成分と y 軸に直交する方向(xz
面内)に偏光面を有する直線偏光成分に分解して考える
ことができる。

【0040】そしてその際の像面112上の光強度は、
分解したそれぞれの成分による光強度分布を平均したも
のになる。

【0041】まず、参照球面111上で偏光面が y 軸に
平行な直線平行成分の場合は、像面112上でも y 軸方
向の偏光成分のみを持つため、点110における振幅は
参照球面111上の振幅をそのまま積分することによっ
て求め、光強度はそれを自乗すれば計算できる。

【0042】一方、参照球面111上で偏光面が y 軸と
直交する直線偏光成分の場合は図31に示すように、参
照球面111から点110に向けた代表的な光線120
~124を考えた場合、偏光方向と光の進行方向は直交
するという条件から、それらの光線の偏光方向はそれぞ
れ図中125~129の矢印のようになる。この場合偏
光は x, z 両成分を持っており、点110における振幅
はそれぞれの成分毎に考える必要がある。そして点11
0における光の強度はそれぞれの偏光成分による振幅か
ら得られる強度の合計となる。

【0043】次にこの考え方を適用してシュミレーシ
ョンを行った結果について説明する。まず図26で説明し
た0次、+1次、-1次の回折光成分を用いる結像で
は、参照球面111の2つの偏光方向に対して最終的な
強度分布はそれぞれ図32、図33のようになる。

【0044】図32は参照球面111上での偏光が y 軸
に平行な場合であり、像は偏光の y 成分のみで形成され
る。一方図33は参照球面111上での偏光が y 軸に垂
直(xz 面内)な場合であり、像は偏光の x 成分及び z
成分の合計として形成される。

【0045】両図から分かるようにこの場合は、参照球
面111上の光の偏光方向によって結果に余り大きな違
いは、生じない。

【0046】尚照明光が非偏光の場合の像面上の光強度
分布は図32、図33の強度分布を平均することによっ
て計算される。

【0047】同様のシュミレーションによって、位相シ
フト法や斜入射照明法のように上記0次、+1次、-1
次の3つの回折光成分のうちの2つの回折光成分を用い
る結像を評価したものを次に示す。

50

【0048】像面上の強度分布の結果のみを示すと、参照球面111上の偏光がy軸に平行な方向の場合には図34、偏光がy軸に垂直な方向の場合には図35となる。

【0049】ここでは偏光方向がy軸に垂直な場合には、偏光のz成分の影響で偏光方向がy軸に平行な場合に比べて像のコントラストがかなり悪化してしまっている。照明光が非偏光とすると像面上の強度分布は図34、図35の強度分布を平均したものになるが、その場合でも図34の強度分布に比べてコントラストが劣化していることは明らかである。

【0050】このように位相シフト法や斜入射照明法を用いて像を形成する際には、結像に寄与する光の偏光状態が結像特性に大きな影響を与えることが本発明者の行った精度の高いシミュレーションの結果から明らかになった。

【0051】以上説明したように解像度を高めるために位相シフト法又は斜入射照明法を適用した場合に結像に寄与する光の偏光を適切に制御しないと期待通りの解像度が得られなくなるという問題点が生じてくる。

【0052】本発明の第1の目的は原板上のパターンを投影光学系で所定面上に投影する際、結像に寄与する光束の偏光状態を適切に設定することにより、高い解像力を維持しつつ高いコントラストで投影することができる半導体素子の製造に好適な像投影方法及びそれを用いた露光装置の提供にある。更には高集積度の半導体素子の製造方法の提供を目的とする。

【0053】一方前述したように投影レンズの瞳面で光の振幅透過率を一樣でなくしてしまう方法は、ある種の照明条件、パターンに対しては非常に有効であるが、他の照明条件、パターンに対しては解像度向上の効果が得られないばかりか逆に解像度の劣化を招いてしまう場合もある。

【0054】言い換えれば、解像度の向上に最適な瞳の透過率分布は、照明条件、パターンの形状、パターンの大きさ等に大きく依存するということである。

【0055】そのため、露光の際の照明条件、投影を行うパターンに応じて透過率が一樣なフィルターを用いる、或は異なった振幅透過率を持つフィルターを入れ替えて使用する、という必要性がでてくる。

【0056】しかし実際の投影レンズの構造を考えると、瞳位置におかれたフィルターを交換するという作業は非常に困難を伴うことが多い。

【0057】本発明の第2の目的は投影光学系の瞳面上での振幅透過率を連続的に容易に変えることにより、スループットの向上を図りつつ、高い解像力を有したパターン像が得られる像投影方法及びそれを用いた露光装置の提供にある。

【0058】

【課題を解決するための手段】本発明の像投影方法は、

(1-1) 照明系からの光束でパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を利用して投影光学系により該パターンを所定面上に投影する際、該回折光の偏光状態を制御して該パターンを投影していることを特徴としている。

【0059】特に、前記投影光学系の瞳面で前記回折光の偏光状態を制御していることや、前記投影光学系の瞳面の中心に対する同心円の接線方向に偏光面を有する回折光成分を主として透過させていること等を特徴としている。

【0060】(1-2) 照明系からの光束でパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を利用して投影光学系により該パターンを所定面上に投影する際、該投影光学系の瞳面近傍に設けた光学手段により、該瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることを特徴としている。

【0061】特に、前記光学手段は2つの偏光部材の相対的位置を制御して前記瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることや、前記光学手段は前記パターンの形状・大きさ及び前記照明系の配置に応じて前記投影光学系の瞳面の所定領域を通過する光束の振幅透過率を制御していること等を特徴としている。

【0062】本発明の露光装置は、

(2-1) 照明系からの光束でレチクル面上のパターンを照明し、該パターンから生じる回折光を投影光学系の瞳に入射させて、該パターンの像をウエハ面上に投影する際、該投影光学系の瞳面近傍に偏光制御装置を設け、該瞳面の中心に対する同心円の接線方向に偏光面を有する回折光成分を主として透過させていることを特徴としている。

【0063】(2-2) 照明系からの光束で原板上のパターンを照明し、該パターンを投影光学系により所定面上に投影露光する際、該投影光学系の瞳面近傍に光学手段を設け、該瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていることを特徴としている。

【0064】特に、前記光学手段は前記投影光学系の瞳面への入射光のうち、特定方向の偏光成分を透過させる第1偏光部材と該第1偏光部材を透過した光のうち特定方向の偏光成分を透過させる第2偏光部材とを有していることや、前記第1偏光部材と第2偏光部材との相対的位置を変えることにより、前記投影光学系の瞳面の所定領域を通過する光束の振幅分布を連続的に変化させていること等を特徴としている。

【0065】又本発明の半導体素子の製造方法としては、

(3-1) 回路パターンを持った原板とウエハとを用意する工程と、前述の像投影方法(1-1)又は(1-2)の何れかの方法によって原板の回路パターンをウエハに露光転写する工程を有することを特徴としている。

【0066】

【実施例】図1は本発明の像投影方法を半導体素子の製造用のステッパー（投影露光装置）に適用したときの実施例1の要部概略図である。

【0067】図中1は超高圧水銀灯等の光源である。光源1から出た光はオブティカルインテグレータ52によって光量分布を均一化した後、アパーチャー8と偏光装置9を介して照明レンズ3によりレチクル4面上のパターン（回路パターン）4aを照明している。そしてレチクル4のパターン4aで回折された光は、投影レンズ（投影光学系）5に入射し、これによってステージ7の上に載った半導体ウエハ6上にパターンを投影している。

【0068】ここでオブティカルインテグレータ52から射出した光は、その全ての光束が照明レンズ3に到達するのではなく、オブティカルインテグレータ52に接近して置かれたアパーチャー8によって照明に適した部分のみが選択される。

【0069】更にレチクル4面上のパターン4aで回折され、投影レンズ5に入射した光は投影レンズ5内の瞳位置に設けられた偏光制御装置9によって、所定の偏光方向を有する光成分のみが透過され、半導体ウエハ6上でのパターン形成に寄与するようになっている。

【0070】図1において10～18は各々光線であり、レチクル4のパターン4aで回折され半導体ウエハ6上に達する光の経路を模式的に描いている。

【0071】ここで、本実施例のステッパーとして各要素について説明する。

【0072】レチクル4には、転写を行うための線幅の小さい回路パターン（パターン）4aが描かれており、照明レンズ3を介した照明光は上記回路パターン4aに依りてレチクル4を透過する。半導体ウエハ6上にはレジスト等の感光材料が塗布されており、光によってパターン4aを投影転写することが可能になっている。

【0073】投影レンズ5はレチクル4上の回路パターン4aの像を半導体ウエハ6上に所定の倍率に縮小（一般に1/5又は1/10）して投影している。その際、レチクル4と半導体ウエハ6はステージ7を駆動することによって所定の位置関係に調整されている。更に1回の露光が終了すると、半導体ウエハ6はステージ7によって水平方向に所定量移動され、そこで、又、露光を行うことを繰り返す所謂ステップ&リピート方式を適用している。

【0074】以上のようにしてステッパーではレチクル4上のパターン4aを半導体ウエハ6上に正確にかつ効率良く投影転写している。

【0075】次に本実施例においてレチクル4面上のパターン4aが図2に示すようにx方向に周期性を有するスリット状のパターンである場合について説明する。

【0076】図2において20～24が開口であり、光

はこの部分のみを透過している。又一点鎖線25はスリット状の開口20～24の繰返し方向（x方向）に引いた基準線であり、後の説明で用いる。

【0077】ここでパターン4aが微細になり、通常の照明法では前記パターンを高コントラストで半導体ウエハ6上に転写できない場合でも、主光線がレチクル4に対して鉛直な方向から傾いた光束で照明すること、所謂斜入射照明法により像のコントラストが向上することは前述した通りである。

【0078】図3は図2のパターン4aの一点鎖線25上の要部断面図である。斜入射照明法により光束30、31を傾ける方向としては、同図に示すようにパターンが繰返している面内で光束の主光線が斜めになるようにする。その条件を満たすには、図1のアパーチャー8の開口を図4に示すような開口33、34にしている。

【0079】図4において斜線部分32は光が通らないように遮光されている遮光領域である。2つの円形開口33、34は透過領域であり、この領域33、34からの光が結像に寄与している。図中、35は円形開口33、34の中心を通るように引いた基準線であり、レチクル4上の基準線25とアパーチャー8上の基準線35はお互いに平行になるように設定されている。

【0080】本実施例では以上のような構成によりレチクル4面上のパターン4aをウエハ6上に投影露光すると投影レンズ5内の瞳の位置（図1中で偏光制御装置9の描かれている位置）には、光がパターン4aで回折される効果により、露光波長及びパターン周期から決まる振幅分布が形成される。更にその振幅分布はレチクル4に平行な瞳の面内で考えると、図5に示す太線40で示した位置になる。

【0081】ここで図5は投影レンズ5の瞳を模式的に描いたものであり、41はその外周である。また太線40は図5に示すレチクル4上の基準線25、及び図4に示すアパーチャー8上の基準線35とは同一の面内に存在する。

【0082】そのようにして形成された瞳上の振幅分布は、例えば図30を用いて説明したように、参照球面111を介して像面上に達し、そこにレチクル4上の元のパターン4aの像を形成する。その際、前述したように、本実施例の斜入射照明を用いた結像では結像に寄与する光の偏光状態でパターン像のコントラストが大きく影響される。光が瞳面（または図30の参照球面111）を透過する際、図5のy軸方向、即ち両矢印42～48の方向の偏光成分からは高コントラストの像が得られる。

【0083】しかしながらそれと直交する方向の偏光成分によるパターン像はコントラストが大きく劣化することは前に図34及び図35を用いて示した通りである。

【0084】本実施例では投影レンズ5の瞳面上において結像に寄与する光の偏光を制御することを特徴として

いる。即ち高コントラストの像が得られる偏光成分のみを透過させてパターン像を形成するようにしている。

【0085】具体的には投影レンズ5の瞳面上に図5の両矢印42～48で示される偏光成分のみを透過させることができる偏光板等の偏光制御装置9を設けて露光を行っている。

【0086】ここまでの説明はレチクル4上のパターンが図2に示すようにx方向に周期性をもつパターンとして扱っていたが、実際の回路パターンは様々な方向のパターンから構成されている。そこでそれらの様々な方向のパターンに対して斜射照明の条件を満たすには図1のアパーチャー8として、例えば図6に示したものが用いられる。

【0087】図中斜線部50、51が遮光部、52が開口である。これは一般に輪帯照明と呼ばれる斜射照明法の一種で任意の方向のパターンに対して解像度向上の効果がある。

【0088】図4に示したアパーチャー8の代わりに図6に示したアパーチャー8を用い、様々な方向を持ったレチクル4上のパターンを照明すると、投影レンズ5中の瞳面上には図5の太線40で示した部分以外にも光の振幅分布が形成されるが、それらは瞳の中心に対して対称なものになることは明らかである。

【0089】そこでそのような分布全てに対して、上で述べたように高コントラストのパターン像が得られるように偏光成分を選択するには、投影レンズ5内の瞳の位置に設置され図1で示された偏光制御装置9は図7に示すように中心に対する同心円の接線方向（図中両矢印で示してある）の偏光成分のみを透過することができるものであれば良いことが分かる。

【0090】更に図7に示した偏光制御装置9は図8に示すように瞳面を複数の部分に分割し、近似的に図7に示したものと同様の効果を持たせたものを使用することも可能である。

【0091】ここで図8中、両矢印はその部分を透過できる光の偏光方向を表しており、図7の構成のものに比べて作成が簡単になっている。

【0092】本実施例では以上のような構成により、レチクル4上のパターンで回折され投影レンズ5の瞳に入射した光のうち偏光制御装置9により瞳の中心に対する同心円の接線方向の偏光成分のみを透過させてパターン像を形成することにより常にコントラストの高いパターン像を得ている。

【0093】本実施例ではレチクル4上のパターン4aは5本のライン&スペースで形成されているとして説明を行ったが、5本以外のライン&スペースパターンについても同様に適用可能である。又、ライン&スペースの幅の比は1対1に限られるものではなく、更にパターンの周期性がある程度不規則になった場合でも本発明は同様に適用可能である。

【0094】次に本発明の実施例2について説明する。実施例2の装置構成は図1の実施例1と略同じである。実施例2が実施例1と異なる点はレチクル4上のパターンに位相シフト法を適用していることである。

【0095】図9は本実施例のレチクル4面上のパターン4aの説明図である。同図に示すようにパターン4aが5本のスリット状の開口60～64から成っている点では図2の実施例1と同じであるが、図9のパターンでは斜線部分60、62、64に透過する光の位相を180度変化させる位相シフターが設けられている点に特徴がある。

【0096】又、この場合のアパーチャー8は、照明光をレチクル4に対して鉛直な方向から入射させる必要があるため、アパーチャー8の形状としては図10のように斜線部分65は遮光されていて、中心の円形部分66からの光のみが透過できるものを用いている。

【0097】レチクル4上のパターン4aが図9に示すようにx方向に周期を持つ場合には投影レンズ5の瞳上では図5中太線40で示される部分に光の振幅分布が形成される。その場合は瞳上で図5中の両矢印42～48で示される方向の偏光成分の光のみを用いれば高いコントラストのパターン像が得られることは実施例1と同様であり、図34、図35等を用いて説明した通りである。

【0098】更にレチクル4上に様々な方向のパターンが存在し、それらのパターンに位相シフト法を用いて解像度の向上を図る場合には、偏光制御装置9として図7又は図8に示したものをを用いていれば、よりコントラストの高いパターン像が得られることは実施例1の場合と同様である。

【0099】以上のように、本実施例ではレチクル4上の位相シフターを付加したパターンで回折され、投影レンズ5の瞳に入射した光のうち瞳の中心に対する同心円の接線方向の偏光成分のみを透過させてパターン像を形成することにより位相シフト法の効果が十分に生かされたコントラストの高いパターン像を得ることができる。

【0100】実施例2ではレチクル上のパターンが5本のライン&スペースで形成されている場合を例にとり示したが、5本以外のライン&スペースパターンについても同様に適用可能である。

【0101】又、ラインとスペースの幅の比は1対1に限られるものではなく、更にパターンの周期性がある程度不規則になった場合でも同様に適用可能である。

【0102】以上のように実施例1、2によれば原板上のパターンを投影光学系で所定面上に投影する際、投影光学系の瞳位置でパターンで回折された光のうち瞳中心に対する同心円の接線方向の偏光成分のみを選択して透過させ、パターン像を形成することにより、高い解像力を維持しつつ高コントラストで投影することができる半導体素子の製造に好適な像投影方法及び露光装置更には

製造方法を達成することができる。

【0103】図11は本発明を半導体素子製造用のステッパ（投影露光装置）に適用したときの実施例3の要部概略図である。

【0104】図中1は超高圧水銀灯等の光源、2は光源1から出た光を均一する為のオプティカルインテグレータ、3は照明レンズ、4は転写を行う回路パターンが描かれたレチクル、5は投影レンズ、6は半導体ウエハ、7はステージ、8はアパーチャー、9aは光学手段としての瞳フィルター部である。

【0105】ここで図11の構成をとるステッパと呼ばれる投影露光装置の一般的な動作について図1と一部重複するが順次説明を行う。

【0106】光源1から射出された紫外光はオプティカルインテグレータ2によって光量分布が均一化される。オプティカルインテグレータ2から出た光は、その全てが照明レンズ3に到達するのではなく、オプティカルインテグレータ2に接近しておかれたアパーチャー8によって照明に適した部分のみが選択される。そのように選択された光は照明レンズ3を介してレチクル4を照明する。レチクル4上には半導体素子用の回路パターン4aが描かれており、前記回路パターンで回折された光は、投影レンズ5に入射する。投影レンズ5はレチクル4上の前記回路パターンの像を半導体ウエハ6上に所定の倍率に縮小（一般に1/5又は1/10）して投影を行う。

【0107】半導体ウエハ6上にはレジスト等の感光材料が塗布されており、光によってパターンを転写することが可能になっている。実際に露光を行う際には、まず、レチクル4と半導体ウエハ6はステージ7を駆動することによって所定の位置関係に調整される。そして1回の露光が終了すると半導体ウエハ6はステージ7によって水平方向に所定量移動され、そこで又露光を繰り返すという所謂ステップ&リピート方式が適用される。

【0108】以上のようにして、ステッパではレチクル4上のパターンを半導体ウエハ6上に正確にかつ効率よく転写できるようにしている。

【0109】尚図11中の瞳のフィルター部9aは所定の振幅透過率分布を有しており、投影レンズ5の瞳に入射する光の振幅分布を変換する働きをもつものである。更に後で詳しく説明するように、瞳フィルター部9aは本発明によって前記振幅透過率分布を容易に変化させることが可能となったものである。

【0110】本実施例では前述の“斜入射照明法”の効果を實現するために、アパーチャー8の形状は図12に示すものとする。

【0111】図中斜線部220、222が遮光部で221が開口部である。これは所謂“輪帯照明”と呼ばれる配置で、開口部221から射出した光はレチクル4を斜め方向から照明することになるので微細なパターンまで

転写することが可能になる。ただこのままでは、0次回折光の振幅が他の回折光成分（-1次又は+1次）の振幅に比べて大きくなるので高いコントラストの像が得られない。

【0112】そこで従来から、投影レンズ5内でアパーチャー8と光学的に共役となる瞳の位置にフィルターを挿入して0次回折光の振幅を低減させるようにしている。

【0113】図13は投影レンズ5の瞳面を模式的に描いたものであり、図中網線部223はアパーチャー8として図12に示す輪帯状のものをを用いた場合に、開口部221の像ができる部分である。

【0114】従ってレチクル4上のパターンで回折された0次の回折光成分は網線部223を通過することになる。そのため網線部223の振幅透過率を他の部分より所定の値だけ低くすることにより像のコントラストが向上する。その際、図13中破線224に沿った断面の振幅透過率は図14に示すものになる。図14中の横軸は瞳の径方向の座標であり、点0が瞳の中心に対応する。また縦軸が振幅透過率であり、瞳の中心と周辺部で1、図13中の網線部223に対応する部分では1より低い所定の値になっている。

【0115】ここで網線部223の振幅透過率を変化させたい場合、或は瞳面の振幅透過率を一様にした場合、従来は瞳フィルターを交換する以外に方法が全く存在しなかった。

【0116】しかし本実施例の露光装置では、本発明を用いた瞳フィルター部9aを以下の構成にすることによってフィルターを交換することなく瞳の振幅透過率分布を変化させることが可能になっている。

【0117】そこで次に瞳フィルター部9aについて詳しい説明を行う。まず図15は本発明で用いた瞳フィルター部9aの要部断面図である。ここで瞳フィルター部9aは図中それぞれ230、231で示された第1偏光部材としてのフィルターAと、第2偏光部材としてのフィルターBの2枚のフィルターで構成されていること、そしてフィルターA230は投影レンズ5内に固定されているが、フィルターBは231は駆動部232によって面内方向に回転可能になっていることが特徴である。

【0118】次に図16はフィルターA230の瞳面内方向の構成を表したものである。図16に示すようにフィルターA230は3つの部分240、241、242から構成されており、部分240、242はそこに入射する光をそのまま透過させ、一方部分241はそこに入射する光のうち、図中両矢印で示した方向の偏光成分のみを透過させる偏光フィルターになっている。

【0119】図中の座標軸はこの後の説明のために用いるもので、軸の決め方は、部分241を透過する光の偏光の方向、つまり両矢印と平行な方向をy軸とし、面内で前記y軸と直交する方向をx軸としてある。

【0120】図17はフィルターB231の瞳面内方向の構成を表したものである。この場合フィルターB231はそこに入射する光のうち図中両矢印で示した方向の偏光成分のみを透過させる偏光フィルターから成っている。ここで θ は、図中両矢印、即ちフィルターB231を透過できる光の偏光方向とy軸のなす角度を表したもので、この後の説明を用いる。

【0121】投影露光装置では、通常特別に偏光していない非偏光の光でパターンを照明するため、瞳フィルター部9aに入射する光も当然、非偏光と考えることができる。非偏光の光が図16に示したフィルターA230を透過すると、図中部分240、242を通った光は非偏光のままであるが、部分241を通った光はx軸方向の偏光成分がカットされ、y軸方向の直線偏光光となる。

【0122】そのような光が引き続いて偏光フィルターであるフィルターB231を透過すると、光の振幅分布は図17に示した角度 θ によって図18(A)~(C)のようになる。

【0123】図18は図14と同様に瞳中心Oを通る断面上での瞳の径方向の振幅透過率分布を表したものである。

【0124】まず $\theta=0$ 度の場合は、フィルターA230の部分241で直線偏光になった光は全てフィルターB231を透過でき、フィルターA230で変換を受けなかった光はフィルターB231で直線偏光に変換されるだけなので、フィルターA230、B231の両者を透過した光の振幅分布は図18(A)に示すように瞳面内で一様になる。

【0125】一方、 $\theta=90$ 度の場合は、フィルターA230の部分241で直線偏光になった光はフィルターB231を全く透過することができないので、フィルターA230、B231の両者を透過した光の振幅分布は図18(C)に示すようになる。

【0126】最後に θ が0度と90度の間にある場合は、フィルターA230の部分241で直線偏光になった光は、その一部分がフィルターB231を透過することができるので、フィルターA230、B231の両者を透過した光の振幅分布は図18(B)に示すようになる。

【0127】但しここで、振幅透過率が1に満たない部分の透過率の値は θ の値を変化させることによって、即ち偏光フィルターB231を駆動部232によって面内方向で回転させることによって、0から1の間の任意の値に調整することができる。その為図14に示した振幅透過率分布もこの構成で実現が可能になる。

【0128】以上説明したように、本発明に係るフィルター部9aを用いれば、投影レンズ5内の瞳の透過率分布を瞳内で完全に均一な状態からの瞳内の一部で透過率が0になる状態まで連続的に変化させることが可能にな

る。

【0129】よって本発明を適用した以上の構成の投影露光装置を用いて、パターン又は照明条件に最適な透過率分布を持った瞳フィルターを容易に実現することができるので、微細な像を常に高コントラストで転写することが可能になる。

【0130】本実施例ではアパーチャー8として図12に示したものをを用い、所謂“輪帯照明”の場合について話を進めたが、本発明がそれ以外の様々な照明条件について適用可能である。

【0131】本実施例では瞳フィルター部9aは2枚のフィルターA230、B231で構成され、そのうちの1枚が瞳の面内で回転可能であるとしたが、その部分を3枚以上のフィルターで構成することが可能である。また回転可能な部分が2つ以上となる構成が可能である。

【0132】本実施例では瞳フィルター部9aを構成するフィルターは全て投影レンズの瞳の位置にあるとしたが、その一部が前記瞳の位置以外の光学系中の何れかの位置に置かれるような構成が可能である。

【0133】次に実施例3と同様の構成で、瞳フィルター部9aを構成するフィルターA230を別のものに置き換えることで実現可能な、瞳の振幅透過率分布について説明を行う。尚フィルターB231としては図17に示した実施例3と同様のものをを用いるとする。

【0134】まずフィルターA230として図16に示すものの代わりに、図19に示すものをを用いる場合について説明する。

【0135】図19中で部分250はそこに入射する光をそのまま通過させ、部分251はそこに入射する光を図中両矢印で示した方向(y軸方向)に偏光面を持つ直線偏光光に変換させる。

【0136】そのようにしてフィルターA230を通過して更に図17に示すフィルターB231を通過した光の振幅分布は、実施例3の場合と同様、図17中に示した角度 θ に依存する。そこで θ を変化させることによって得られる瞳の振幅透過率分布を図20に示す。

【0137】図20(A)は $\theta=0$ 度の場合であり、図18(A)の分布が得られるのと同様の理由で瞳面内で均一な透過率分布が得られる。図19(C)は $\theta=90$ 度の場合であり、瞳中心で透過率が0になる分布が得られる。 θ が0度と90度の間に位置する場合は、図20(B)に示す透過率分布が得られ、中央部の透過率の値は θ を変えることで連続的に変化させることができる。

【0138】次にフィルターA230として図21に示すものをを用いる場合について説明を行う。

【0139】図中、部分260はそこに入射する光を両矢印で示した方向(y軸方向)の直線偏光光に変換し、部分261はそこに入射する光を同様に両矢印で示した方向(x軸方向)の直線偏光光に変換する。

【0140】このようにして上の例と同様に θ を変化さ

せた場合に得られる瞳の振幅透過率分布を図22に示す。 θ の値によって図に示すような透過率分布が得られる理由は前述の通りなのでここでは詳しい説明は省略する。

【0141】尚本発明を用いることにより、ここに述べた以外にも転写を行うパターン、照明条件に最適な瞳の振幅透過率分布を容易に実現できる。

【0142】次に上記説明した露光を利用した半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。

【0143】図23は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或いは液晶パネルやCCD等）の製造のフローを示す。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0144】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0145】次のステップ5（組立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0146】図24は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。

【0147】ステップ16（露光）では上記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返すことにより、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0148】本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを製造することができる。

【0149】

【発明の効果】本発明によれば以上のようにパターンを投影光学系で所定面上に投影する際、投影に用いる光束の偏光状態を適切に設定することにより、高い解像力を

維持しつつ高コントラストで投影することができる半導体素子の製造に好適な像投影方法及び露光装置、更には製造方法を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の像投影方法をステッパに適用したときの実施例1の要部概略図

【図2】 図1のレチクルの説明図

【図3】 図1のレチクルの説明図

【図4】 斜入射照明の説明図

【図5】 瞳面上の偏光成分の説明図

【図6】 アパーチャの説明図

【図7】 瞳を透過する偏光成分の説明図

【図8】 瞳を透過する偏光成分の説明図

【図9】 レチクルのパターンの説明図

【図10】 アパーチャの説明図

【図11】 本発明の像投影方法をステッパに適用したときの実施例3の要部概略図

【図12】 図11のアパーチャの説明図

【図13】 図11の瞳面上の振幅透過率の説明図

【図14】 図11の瞳面上の振幅透過率の説明図

【図15】 図11の瞳フィルターの説明図

【図16】 図11の瞳フィルターの説明図

【図17】 図11の瞳フィルターの説明図

【図18】 図11の瞳面上の振幅透過率の説明図

【図19】 図11の瞳フィルターの説明図

【図20】 図11の瞳上の振幅透過率の説明図

【図21】 図11の瞳フィルターの説明図

【図22】 図11の瞳上の振幅透過率の説明図

【図23】 本発明の半導体素子の製造方法のフローチャート

【図24】 本発明の半導体素子の製造方法のフローチャート

【図25】 レチクルの振幅透過率を表す説明図

【図26】 瞳上の振幅分布を表す説明図

【図27】 像面上の強度分布を表す説明図

【図28】 位相シフト法を用いた場合の瞳上の振幅分布を表す説明図

【図29】 斜入射照明を用いた場合の瞳上の振幅分布を表す説明図

【図30】 射出瞳上の振幅分布を表す説明図

【図31】 光線の角度による偏光方向の違いを説明するための説明図

【図32】 通常結像による像面上の強度分布を表す説明図（入射高偏光はスリットに平行）

【図33】 通常結像による像面上の強度分布を表す説明図（入射高偏光はスリットに垂直）

【図34】 位相シフト法、斜入射照明による像面上の強度分布の説明図（入射高偏光はスリットに平行）

【図35】 位相シフト法、斜入射照明による像面上の強度分布の説明図（入射高偏光はスリットに垂直）

(11)

特開平 7-142338

19

20

【図 3 6】 従来の通常照明の説明図

【図 3 7】 従来の斜入射照明の説明図

【図 3 8】 従来の斜入射照明でフィルターを用いたと
きの説明図

【符号の説明】

1 光源

2 オプティカルインテグレータ

3 照明レンズ

4 レチクル

5 投影レンズ

6 半導体ウエハ

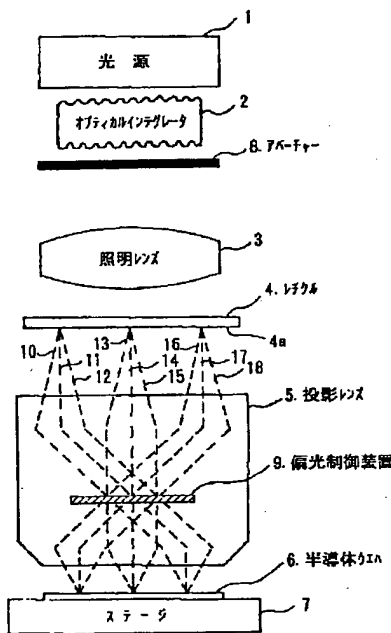
7 ステージ

8 アパーチャ

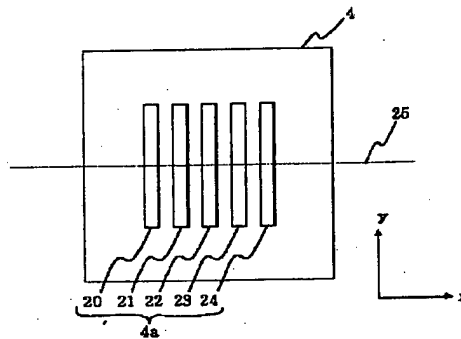
9 偏光制御装置

9 a 瞳フィルター部

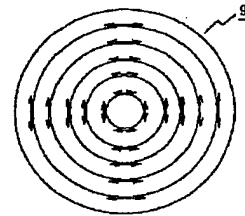
【図 1】



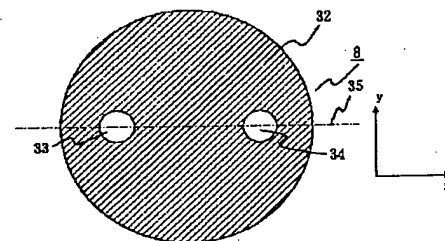
【図 2】



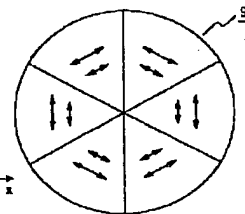
【図 7】



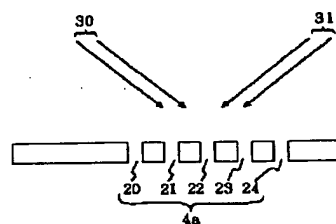
【図 4】



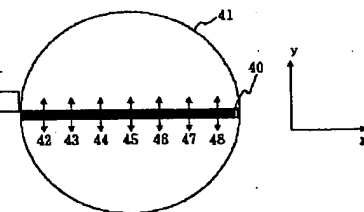
【図 8】



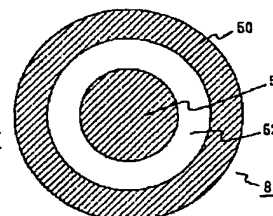
【図 3】



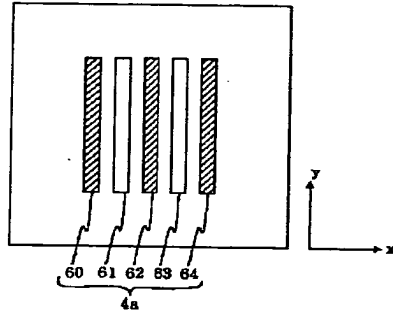
【図 5】



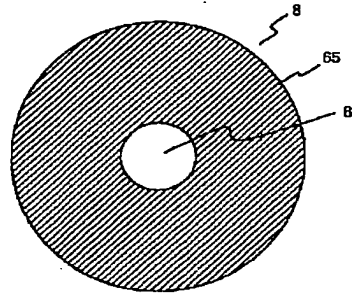
【図 6】



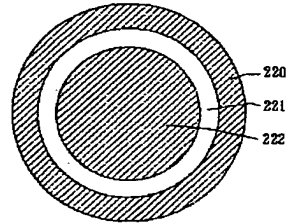
【図9】



【図10】

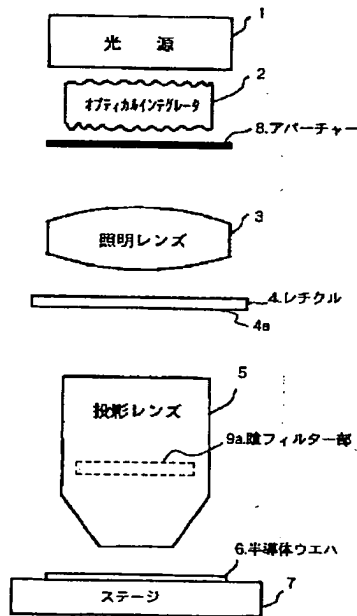


【図12】

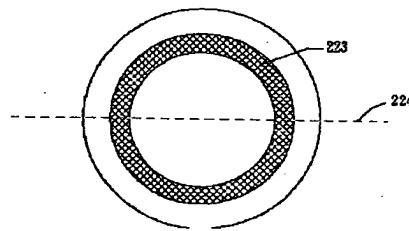


【図26】

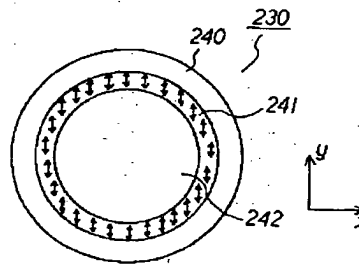
【図11】



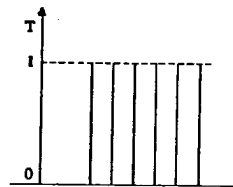
【図13】



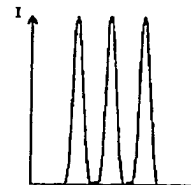
【図16】



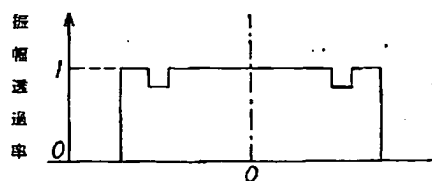
【図25】



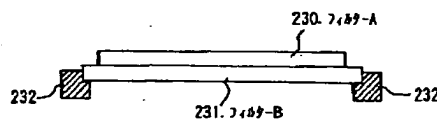
【図27】



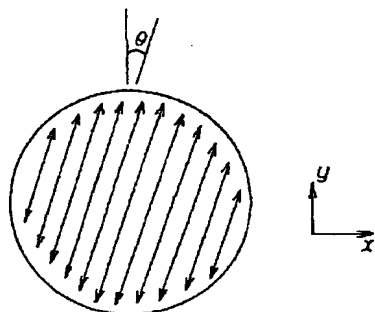
【図14】



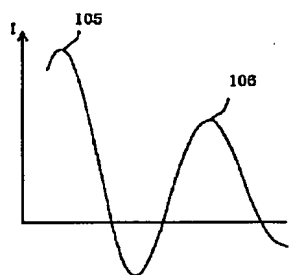
【図15】



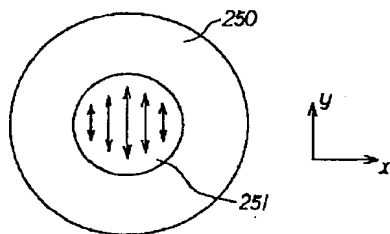
【図17】



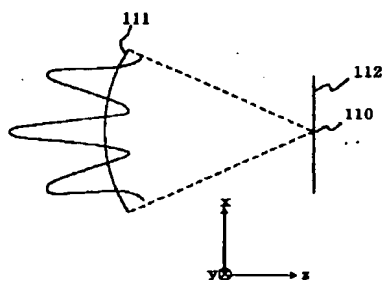
【図29】



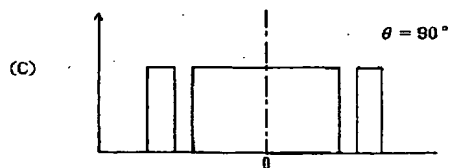
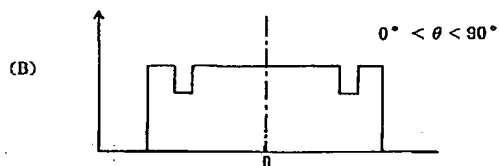
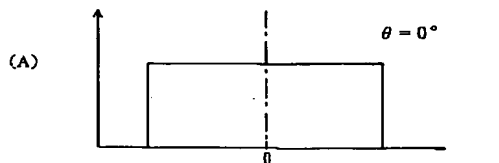
【図19】



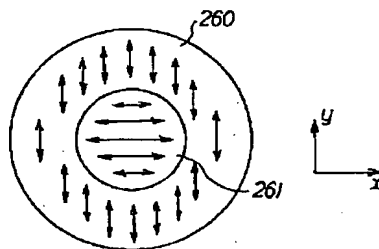
【図30】



【図18】



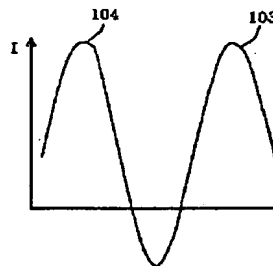
【図21】



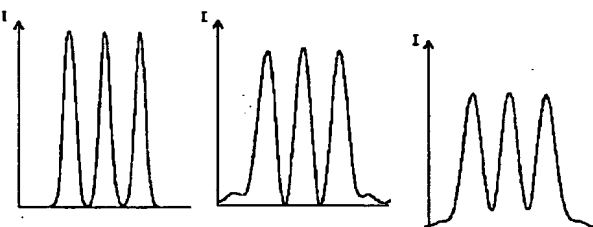
【図33】

【図34】

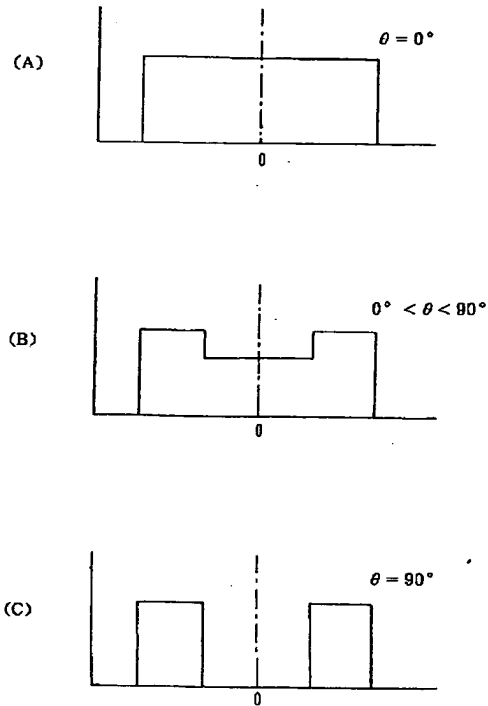
【図28】



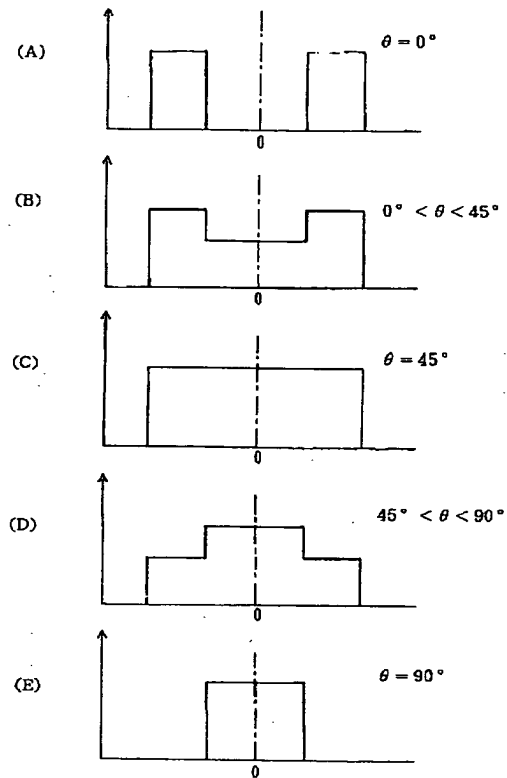
【図35】



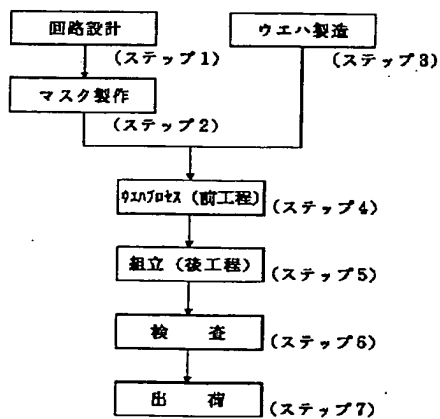
【図20】



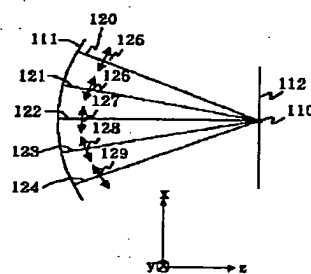
【図22】



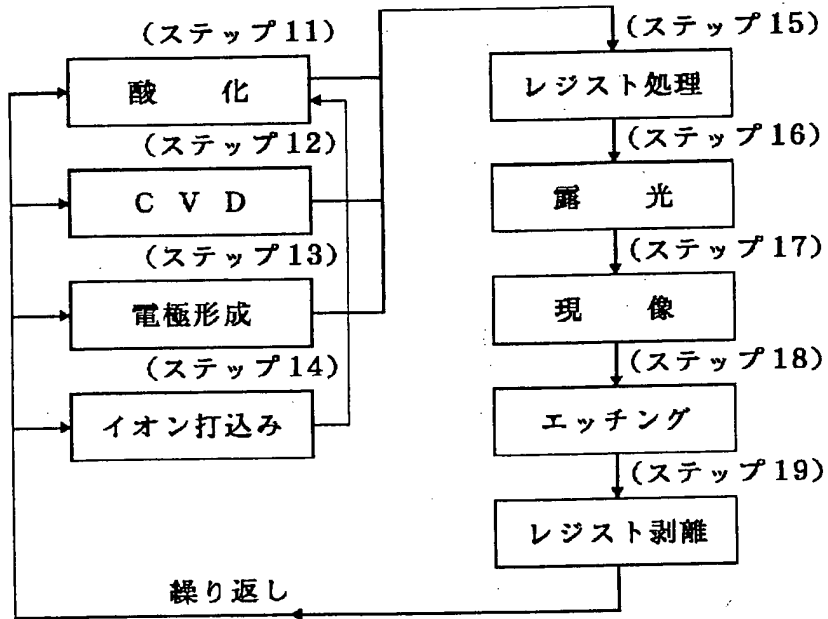
【図23】



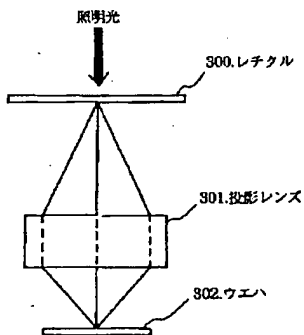
【図31】



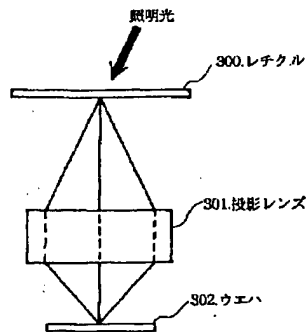
【図24】



【図36】



【図37】



(16)

特開平7-142338

【図38】

